

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
11. Dezember 2003 (11.12.2003)

PCT

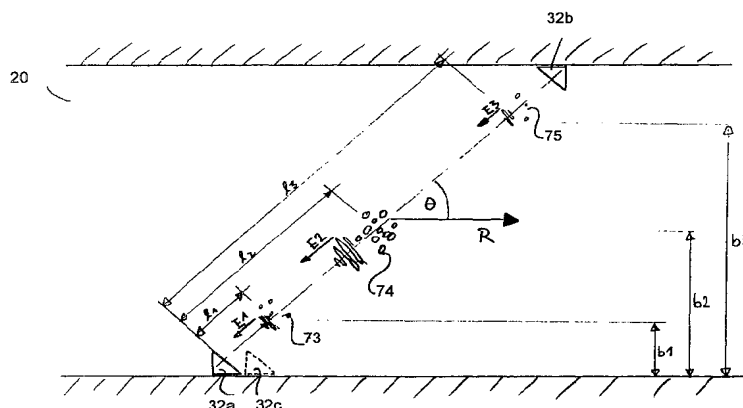
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/102512 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01F 1/66, 1/74, G01N 29/02
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/01783
- (22) Internationales Anmeldedatum: 31. Mai 2003 (31.05.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 102 24 294.1 31. Mai 2002 (31.05.2002) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SYSTEC CONTROLS MESS UND REGEL-TECHNIK GMBH [DE/DE]; Lindberghstrasse 4, 82178 Puchheim (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BETZ, Oliver [DE/DE]; Parkstrasse 6, 82194 Gröbenzell (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ULTRASONIC MEASUREMENT OF THE RUNNING TIME AND QUANTITY FOR DETECTING THE CONCENTRATION OF PARTICLES IN A FLOWING FLUID

(54) Bezeichnung: ULTRASCHALL-LAUFZEIT-MENGENMESSUNG ZUM ERMITTELN DER KONZENTRATION VON PARTIKELN IN EINEM STRÖMENDEN FLUID



(57) Abstract: Disclosed is a method for the ultrasonic measurement of the running time and quantity of a flowing fluid, in which the running time of an ultrasonic signal (70) is measured counter to and in the direction of the flow (5), wherefrom the flow rate of the fluid is determined. According to the inventive method, the reflections of the ultrasonic signal (70) on particles contained in the fluid are also detected so as to be able to determine the concentration of particles. Also disclosed is a device for carrying out such a method. Said device comprises at least two ultrasonic transducers (32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b) which can be switched from a transmission mode to a reception mode. The ultrasonic transducers that are in the transmission mode can transmit ultrasonic signals (70) which can be received by ultrasonic transducers that are in the reception mode once said signals (70) have penetrated the flow of fluid (20) that is to be analyzed. At least one of the ultrasonic transducers (32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b) of the inventive device can be switched from the transmission mode to the reception mode so quickly that said ultrasonic transducer can receive the reflections (E1, E2, E3) of the transmitted signal (70) thereof. The inventive device can also be provided with additional ultrasonic transducers (32c) which are arranged such that said additional ultrasonic transducers (32c) can receive the reflections (E1, E2, E3) of the signal (70) transmitted by the ultrasonic transducers in the transmission mode.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/102512 A1



PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i) für alle Bestimmungsstaaten
- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SI, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW, ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,

IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii) für alle Bestimmungsstaaten
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**(57) Zusammenfassung:** Vorgeschlagen wird ein Verfahren zur Ultraschall-Laufzeit-Mengenmessung eines strömenden Fluids, bei dem die Laufzeit eines Ultraschall-Signals (70) entgegen und mit der Strömung (R) gemessen und daraus die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids ermittelt wird. Bei dem vorgeschlagenen Verfahren werden zusätzlich die Reflexionen des Ultraschall-Signals (70) an Partikeln im Fluid erfasst, um daraus die Konzentration der Partikel zu ermitteln. Es wird außerdem eine Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens vorgeschlagen, die ausgestattet ist mit wenigstens zwei Ultraschall-Wandlern (32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b), welche umschaltbar sind vom Sendezustand in einen Empfangszustand, wobei die Ultraschall-Wandler im Sendezustand Ultraschallsignale (70) aussenden können, die von Ultraschall-Wandlern im Empfangszustand empfangen werden können, nachdem sie den zu untersuchenden Fluidstrom (20) durchquert haben. Wenigstens einer der Ultraschall-Wandler (32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b) der Vorrichtung ist so schnell von Senden auf Empfang umschaltbar, daß er die Reflexionen (E1, E2, E3) seines ausgesandten Signals (70) empfangen kann. Es können auch zusätzliche Ultraschall-Wandler (32c) vorgesehen sein, die so angeordnet sind, dass sie die Reflexionen (E1, E2, E3) des von den Ultraschall-Wandlern im Sendezustand ausgesandten Signales (70) empfangen können.

Verfahren zur Ultraschall-Laufzeit-Mengenmessung

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ultraschall-Laufzeit-Mengenmessung eines strömenden Fluids, bei dem die Laufzeit eines Ultraschall-Signals entgegen und mit der Strömung gemessen und daraus die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids ermittelt wird. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zur Durchführung eines derartigen Verfahrens.

- Das Ultraschall-Laufzeitverfahren ist eine bekannte und bewährte Methode zu Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit von Fluiden, also flüssigen oder gasförmigen Medien in Leitungen oder Kanälen. Bei einem Ultraschall-Laufzeitverfahren nach dem Stand der Technik (Fig. 1) werden in einem durchströmten Meßquerschnitt 10 mindestens zwei Ultraschall-Wandler 12a, 12b zur Strömungsrichtung R versetzt angeordnet. Der Abstand  $l$  zwischen den beiden Ultraschall-Wandlern 12a, 12b ist daher größer als die Weite  $b$  des durchströmten Meßquerschnitts. Die Ultraschall-Wandler 12a, 12b können hierbei sowohl mediumsbenetzt als auch von außen auf die Wand des Meßquerschnitts 10 aufgesetzt sein. Durch die Eigengeschwindigkeit des Mediums benötigen Ultraschallsignale, die mit der Strömung diagonal stromabwärts gesendet werden, eine geringere Laufzeit  $t_1$  als Ultraschallsignale die stromaufwärts gesendet werden (Laufzeit  $t_2$ ). Sind der Abstand zwischen den Ultraschall-Wandlern sowie der Winkel  $\theta$  zwischen Ultraschallpfad und Strömungsrichtung bekannt, so läßt sich die mittlere Strömungsgeschwindigkeit aus der Laufzeitdifferenz  $dt=t_2-t_1$  ermitteln:

$$v = \frac{l}{2 \cos \theta} \cdot \frac{dt}{t_1 \cdot t_2}$$

- Zur Ermittlung der Laufzeitdifferenz werden in modernen Messeinrichtungen die empfangenen Signale digitalisiert und dann mit einem Auswerterechner (Digital Signal Processor, DSP) ausgewertet. Zur Durchflussmessung in großen Querschnitten und zur Durchflussmessung bei Freispiegelquerschnitten werden wegen der komplexen Strömungsgegebenheiten Mehrpfad-Ultraschall-Durchflussmessungen verwendet. Fig. 2 zeigt beispielhaft eine solche Durchflussmessung in einem Meßquerschnitt 10 in Form eines offenen Gerinnes, in dem ein Fluid 20 mit einem Pegelstand  $h_p$  fließt. In diesem Beispiel sind zwischen

paarweise angeordneten Ultraschall-Wandlern 12a, 12b, 14a, 14b, 16a, 16b, 18a, 18b horizontale Messpfade 1 bis n so übereinander angeordnet, dass die ungleiche Geschwindigkeitsverteilung  $v_1$  bis  $v_n$  über der Pegelhöhe  $h_1$  bis  $h_n$  (Fig. 3) ermittelt werden kann. Durch eine geeignete Integration lässt sich damit die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Querschnitt mit hoher Genauigkeit errechnen. Solche Messverfahren sind z.B. in der ISO/DIS 6416 beschreiben.

Bei einer Vielzahl von Applikationen bei denen Ultraschalldurchflussmesser zu Einsatz kommen, wäre neben der Durchflussmengenmessung auch die Messung der Partikeldichte oder Trübung von hohem Interesse. Als Beispiele seien hier die Messung von Rauch- und Abgasen, die Messung von Luftmengenströmen zur Verbrennungsregelung, die Messung hinter Filtern und die Messung von Zu- und Abläufen in Kläranlagen genannt. In den genannten Beispielen ist die Partikelmessung teilweise vorgeschrieben um z.B. Umweltauflagen zu erfüllen und/oder sie ist ein wichtiger Parameter um die Prozesse optimal zu überwachen oder zu steuern.

Es sind Verfahren zur Messung der Partikelkonzentration nach optischen Prinzipien bekannt. Dabei wird die Schwächung eines Lichtstrahls durch Streuung und Absorption zur Berechnung der Partikelkonzentration im Fluid benutzt. Diese Verfahren überwachen jedoch ein sehr geringes Kontrollvolumen welches als repräsentativ für den gesamten Meßquerschnitt angenommen wird. Darüber hinaus liefern diese Verfahren keinen ortsaufgelösten Meßwert. Ein weiterer Nachteil ist, daß diese Verfahren verschmutzungsanfällig und dadurch wartungsintensiv sind, beispielsweise wegen Algenbildung oder Ablagerungen von Schwebstoffen an den Lichtquellen oder Sensoren.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Durchfluss-Mengenmessung mit Ultraschall zu schaffen, das eine kostengünstige und zuverlässige Möglichkeit zur Messung der Partikelkonzentration bietet.

Zu diesem Zweck wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art zusätzlich die Reflexion des Ultraschall-Signals an Partikeln im Fluid erfasst um daraus die Konzentration der Partikel zu ermitteln. Zur Erfassung der Reflexionen sind im Hinblick auf ein Verfahren zur Durchfluss-Mengenmessung keine zusätzlichen Ultraschall-Wandler notwendig. Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich daher kostengünstig mit einer bereits vorhandenen Meßanordnung zur Durchfluss-Mengenmessung durchführen. Gegenüber bekannten

Verfahren zur Messung der Partikelkonzentration ist das erfindungsgemäße Verfahren zuverlässiger, da die Ultraschall-Wandler weniger anfällig gegen Verschmutzung sind als optische Sensoren.

Gemäß einem zweiten Aspekt wird die Aufgabe der Erfindung auch gelöst durch eine

- 5 Vorrichtung zur Durchführung des vorgenannten Verfahrens, mit wenigstens zwei Ultraschall-Wandlern, welche umschaltbar sind vom Sendezustand in einen Empfangszustand, wobei die Ultraschall-Wandler im Sendezustand Ultraschallsignale aussenden können, die von Ultraschall-Wandlern im Empfangszustand empfangen werden können, nachdem sie den zu untersuchenden Fluidstrom durchquert haben, und wobei wenigstens einer der Ultraschall-
- 10 Wandler so schnell von Senden auf Empfang umschaltbar ist, daß er die Reflexionen seines ausgesandten Signales empfangen kann. Für den Empfang der Reflexionen ist daher kein separater Sensor erforderlich, so daß die Vorrichtung kostengünstig hergestellt werden kann, bzw. eine bereits vorhandene Meßanordnung zur Durchfluss-Mengenmessung ohne Installationsaufwand verwendbar oder umrüstbar ist.

- 15 Gemäß einem weiteren Aspekt wird die Aufgabe gelöst durch eine Vorrichtung zur Durchführung des vorgenannten Verfahrens, mit wenigstens zwei Ultraschall-Wandlern, welche umschaltbar sind vom Sendezustand in einen Empfangszustand, wobei die Ultraschall-Wandler im Sendezustand Ultraschallsignale aussenden können, die von Ultraschall-Wandlern im Empfangszustand empfangen werden können, nachdem sie den zu untersuchenden
- 20 Fluidstrom durchquert haben, und wobei zusätzliche Ultraschall-Wandler vorgesehen sind, die so angeordnet sind, daß sie die Reflexionen des von den Ultraschall-Wandlern im Sendezustand ausgesandten Signales empfangen können. Dadurch können für den Empfang der Reflexionen speziell angepaßte Ultraschall-Wandler vorgesehen sein.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

- 25 Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsformen ausführlich beschrieben. Dazu wird Bezug genommen auf die beigefügten Zeichnungen, in welchen zeigt:

Figur 1 eine schematische Ansicht einer Anordnung zur Durchführung eines Laufzeitverfahrens nach dem Stand der Technik;

Figur 2 einen Querschnitt durch die Anordnung aus Fig.1 entlang der Linie II – II in Fig.1;

- Figur 3 eine schematische Darstellung eines Strömungsgeschwindigkeitsprofils, wie es mit einer Anordnung nach den Figuren 1 und 2 ermittelt werden kann;
- Figur 4 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;
- 5 Figur 5 eine schematische Darstellung der Funktionsweise der Vorrichtung aus Fig. 4;
- Figur 6 eine schematische Darstellung der örtlichen Verteilung der Partikkonzentration, wie sie mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelt werden kann;
- Figur 7 eine schematische Darstellung des zeitlichen Verlaufs eines ersten Anregungssignals für einen Ultraschall-Wandler und der Schwingungsantwort des Wandlers auf dieses Signal;
- 10 Figur 8 eine schematische Darstellung des zeitlichen Verlaufs eines zweiten Anregungssignals für einen Ultraschall-Wandler und der Schwingungsantwort des Wandlers auf dieses Signal;

Eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 28 ist in Figur 4 dargestellt.

- 15 Mehrere Ultraschall-Wandler 32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b sind in dem zu messenden Querschnitt eines offenen Gerinnes 30 paarweise installiert, so daß sich jeweils zwischen den Mitgliedern eines Paares 32a und 32b, 34a und 34b, 36a und 36b, 38a und 38b Pfade a, b, c, d erstrecken, die den Querschnitt des Gerinnes 30 in verschiedenen Tiefen von einer Seitenwand zur anderen durchqueren. Dabei schließen die Pfade a, b, c, d mit der Strömungsrichtung R
- 20 des Fluids 20 einen Winkel  $\theta$  ein (siehe auch Figur 5) wodurch die Pfade in einer Richtung mit der Strömung und in entgegengesetzter Richtung gegen die Strömung des Fluids 20 durchlaufen werden können. Die Ultraschall-Wandler 32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b sind über einen Sendemultiplexer 40 mit einem Signalgenerator 42 mit Verstärker 44 und über einen Empfangsmultiplexer 46 mit einer Signalverarbeitungseinheit 48 verbunden, sodass jeder
- 25 der Ultraschall-Wandler 32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b wahlweise als Sender oder Empfänger geschaltet werden kann. Die Signalverarbeitungseinheit 48 besteht aus einem Filter 50 einem Verstärker 52 einem Analog/Digitalwandler 54, in dem die gefilterten und verstärkten Signale von den Ultraschall-Wandlern digitalisiert werden, und einem Speicher 56, in dem die digitalisierten Signale schließlich für die weitere Analyse gespeichert werden.
- 30 Eine Steuer- und Auswerteeinheit 60 enthält eine schnelle Ablaufsteuerung 62, welche den Signalgenerator 42, den Sendemultiplexer 40 und den Empfangsmultiplexer 46 steuert, eine

Recheneinheit mit Prozessor 64, zur Analyse der im Speicher 56 abgelegten Signale, und eine Bedien- und Beobachtungseinheit 66 zur Bedienung der Messvorrichtung 28 und zur Datenausgabe.

Für die Messung der Strömungsgeschwindigkeit des Fluids 20, z.B. zur Bestimmung der Durchflussmenge, wird in bekannter Weise jeweils ein Ultraschall-Wandler der 32a und 32b, 34a und 34b, 36a und 36b, 38a und 38b als Sender geschaltet, der jeweils andere als Empfänger. Um ein Übersprechen zwischen den verschiedenen Pfaden a bis d zu vermeiden wird vorzugsweise nur jeweils einer der Ultraschall-Wandler gleichzeitig als Sender geschaltet. Ist beispielsweise der Ultraschall-Wandler 32a als Sender geschaltet, wird er durch ein kurzes elektrisches Signal, wie es beispielhaft in Fig. 6 dargestellt ist, vom Signalgenerator 42 angeregt und sendet ein Ultraschallsignal 70 aus, welches sich entlang des Pfades a zum Empfänger 32b ausbreitet und dort registriert wird, sodass die Laufzeit  $t_1$  des Signals ermittelt werden kann. Anschließend wird der Ultraschall-Wandler 32b als Sender geschaltet, und ein Ultraschallsignal 70 in entgegengesetzter Richtung über den Pfad a gesendet, welches eine Laufzeit  $t_2$  benötigt. Aus der Differenz der Laufzeiten  $t_1$  und  $t_2$  läßt sich in bekannter Weise die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids berechnen.

Das Ultraschallsignal 70 wird jedoch auch an den im Fluid 20 enthaltenen Partikeln 73, 74, 75 reflektiert. Die reflektierten Ultraschallsignale E1, E2, E3 sind durch die Eigenbewegung der Partikel 73, 74, 75 in Ihrer Frequenz verschoben (Doppler-Effekt). Um die Reflexionen E1, E2, E3 des Ultraschallsignals 70 auswerten zu können um damit die Konzentration der Partikel 73, 74, 75 im Meßquerschnitt zu berechnen, wird der als Sender geschaltete Ultraschall-Wandler 32a bzw. 32b unmittelbar nach dem Senden der Ultraschallsignale 70 als Empfänger geschaltet. Damit kann er die Reflexionen E1, E2, E3 empfangen und zur Auswertung über den Empfangsmultiplexer 46 an die Signalverarbeitungseinheit 48 weiterleiten.

Soll derselbe Ultraschall-Wandler kurz nach dem Senden wieder als Empfänger arbeiten, muß die Eigenschwingung des Ultraschall-Wandlers schnell gedämpft werden. Es ist bekannt, daß Ultraschall-Wandler eine Nachschwingzeit  $t_N$  besitzen. Damit schnell wieder empfangen werden kann, ist eine kurze Nachschwingzeit  $t_N'$  wünschenswert. Wird, wie in Fig. 7 dargestellt, der Ultraschall-Wandler durch ein einfaches Pulssignal 80 der Länge  $t_e$  angeregt, so verhält sich die Eigenschwingung des Ultraschall-Wandlers ähnlich der dargestellten Kurve 82. Auf eine Einschwingphase 84 folgt eine Nachschwingphase 86 mit einer langen Nachschwingzeit  $t_N$ .

Eine lange Nachschwingzeit  $t_N$  kann zum einen durch eine konstruktiven Gestaltung des Ultraschall-Wandlers vermieden werden. Die Nachschwingzeit  $t_N$  lässt sich aber auch durch eine sinnvolle Gestaltung des Sendesignals vom Signalgenerator 42 deutlich verkürzen. In Fig. 8 ist ein Sendesignal 90 dargestellt, bei dem nach einem Anregungsteil 92 der Länge  $t_e$  eine Phasenverschiebung  $\phi$  eingefügt wird, nach der ein Dämpfungsteil 94 der Länge  $t_d$  folgt. Wird die Phasenverschiebung  $\phi$  so gewählt, dass der Dämpfungsteil 94 den Schwingungen 96 des Ultraschall-Wandlers entgegenwirkt, so lässt sich eine deutlich verkürzte Nachschwingzeit  $t_N'$  erreichen. Der Ultraschall-Wandler kann somit wesentlich schneller als Empfänger verwendet werden.

- 10 Nach der Digitalisierung der reflektierten Signale im A/D-Wandler 54, kann durch eine Amplitudenanalyse die Partikelkonzentration ermittelt werden. Durch eine zeitliche Diskretisierung der reflektierten Signale E1, E2, E3 lässt sich die Entfernung der Reflexionsquellen 73, 74, 75, vom Empfänger, in Fig. 5 Ultraschall-Wandler 32a, bestimmen. Hierzu muss zuerst die Schallgeschwindigkeit  $v_s$  des Mediums ermittelt werden. Diese ergibt sich nach Fig. 1 aus der Pfadlänge  $l$  dividiert durch die mittlere Laufzeit  $0,5 (t_1 + t_2)$ . Die Entfernung  $l(t)$  der Partikel, an denen die Reflexion  $E(t)$  entstand, ergibt sich dann aus

$$l(t) = 0,5 \frac{v_s}{t}$$

- Durch Erfassung der Reflexionen E1, E2, E3 auf mehreren Pfaden a bis d, lassen sich sowohl örtlich aufgelöste Partikeldichten darstellen (Fig. 6) als auch durch geeignete Algorithmen genaue Mittelwerte aus dem gesamten Meßquerschnitt ermitteln.

Der Anwender hat durch das beschriebene Verfahren eine wesentlich höhere Auflösung seines Meßquerschnittes und damit eine höhere Genauigkeit der Messergebnisse als bei der punktuellen Messung der Partikeldichte nach dem Stand der Technik.

- Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Erfassung der Reflexionen zu Messung der Partikelkonzentration mit den vorhandenen Ultraschall-Wandlern durchgeführt wird. Dann ist weder zusätzlicher Einbauaufwand notwendig, noch fallen weitere Gerätekosten an.

Vor der Digitalisierung im A/D-Wandler 54 werden die erfaßten Reflexionen in einem Filter 50 gefiltert. Der Filter 50 ist so ausgelegt, dass nur die dopplerverschobenen Reflexionen ungedämpft bleiben. Die Filterparameter sind vorzugsweise von der Ablaufsteuerung 62



veränderbar. Dadurch kann der Durchlassbereich des Filters 50 in Abhängigkeit von der gemessenen Strömungsgeschwindigkeit des Fluids 20 an die zu erwartende Dopplerverschiebung der Reflexionen angepasst werden.

Vorteilhafterweise können nicht nur die Reflexionen auf dem Pfad, auf dem gesendet wurde, erfasst werden. Es können auch Reflexionen und insbesondere Streusignale mittels der auf den anderen Pfaden angeordneten Empfänger erfaßt und zur Auswertung herangezogen werden. Auf diese Weise können die Quellen der Reflexionen und Streusignale örtlich detaillierter aufgelöst und damit die Konzentrationsverteilung der Partikel genauer ermittelt werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung können zusätzlich zu den für die Ultraschall-Laufzeit-Mengenmessung vorgesehenen Ultraschall-Wandlern 32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b weitere, separate Ultraschall-Wandler 32c (Fig. 5) zur Erfassung der Reflexionen E1, E2, E3. vorgesehen sein. Die Reflexionen E1, E2, E3 können dann entweder zusätzlich mit diesen separaten Ultraschall-Wandler 32c erfasst werden, so daß eine höhere Ortsauflösung der Partikelkonzentration möglich ist. Bei geeigneter Anordnung der Empfänger ist auch eine räumliche Auflösung der Partikelkonzentration möglich.

Oder es werden anstelle der Wandler 32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b nur die separaten Ultraschall-Wandler zur Erfassung der Reflexionen verwendet. Dies bietet die Möglichkeit speziell ausgebildete Wandler einzusetzen, die besonders an ihre Aufgabe, das Empfangen, angepasst sind. Die Ultraschall-Wandler 32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b für die Laufzeit-Mengenmessung, die als Sender arbeiten sollen, besitzen nämlich in der Regel einen geringen Abstrahlwinkel, damit das Signal gerichtet abgegeben wird, und damit auch meist einen kleinen Empfangswinkel. Dagegen ist es für die Erfassung der gestreuten Signale vorteilhaft, wenn die Empfänger einen großen Empfangswinkel aufweisen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ultraschall-Laufzeit-Mengenmessung eines strömenden Fluids, bei dem die Laufzeit eines Ultraschall-Signals (70) entgegen und mit der Strömung (R) gemessen und daraus die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids ermittelt wird, dadurch gekennzeichnet,  
5 daß zusätzlich die Reflexionen des Ultraschall-Signals (70) an Partikeln im Fluid erfasst werden, um daraus die Konzentration der Partikel zu ermitteln.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Konzentration der Partikel durch Amplitudenanalyse der Reflexionen des Ultraschall-Signals (70) ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die örtliche Konzentrationsverteilung (73, 74,  
10 75) der Partikel mittels Analyse der Laufzeit der Reflexionen (E1, E2, E3) des Ultraschall-Signals (70) ermittelt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem mittels Analyse der Laufzeit von mehreren Ultraschall-Signalen entlang mehrerer Pfade ein Strömungsgeschwindigkeitsprofil ermittelt wird und die örtliche Konzentrationsverteilung  
15 der Partikel durch Auswertung der Reflexionen der mehreren Ultraschall-Signale ermittelt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zur Erzeugung des Ultraschall-Signals (70) in einem Ultraschall-Wandler (32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b) ein elektrisches Sendesignal (90) verwendet wird, welches aus einem Anregungsteil  
20 (92) und einem Dämpfungsteil (94) besteht.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Dämpfungsteil (94) gegenüber dem Anregungsteil (92) eine Phasenverschiebung ( $\varphi$ ) aufweist, sodass er dem Nachschwingen des Ultraschall-Wandlers entgegenwirkt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die erfassten Reflexionen  
25 (E1, E2, E3) vor der Auswertung schmalbandig gefiltert werden.
8. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorgenannten Ansprüche, mit wenigstens zwei Ultraschall-Wandlern (32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b), welche umschaltbar sind vom Sendezustand in einen Empfangszustand, wobei die Ultraschall-Wandler im Sendezustand Ultraschallsignale (70) aussenden können, die von Ultraschall-

Wandlern im Empfangszustand empfangen werden können, nachdem sie den zu untersuchenden Fluidstrom (20) durchquert haben, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einer der Ultraschall-Wandler (32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b) so schnell von Senden auf Empfang umschaltbar ist, daß er die Reflexionen (E1, E2, E3) seines  
5 ausgesandten Signals (70) empfangen kann.

9. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorgenannten Ansprüche, mit wenigstens zwei Ultraschall-Wandlern (32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b), welche umschaltbar sind vom Sendezustand in einen Empfangszustand, wobei die Ultraschall-Wandler im Sendezustand Ultraschallsignale (70) aussenden können, die von Ultraschall-  
10 Wandlern im Empfangszustand empfangen werden können, nachdem sie den zu untersuchenden Fluidstrom (20) durchquert haben, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzliche Ultraschall-Wandler (32c) vorgesehen sind, die so angeordnet sind, dass sie die Reflexionen (E1, E2, E3) des von den Ultraschall-Wandlern im Sendezustand ausgesandten Signales (70) empfangen können.

Fig. 1      Stand der Technik

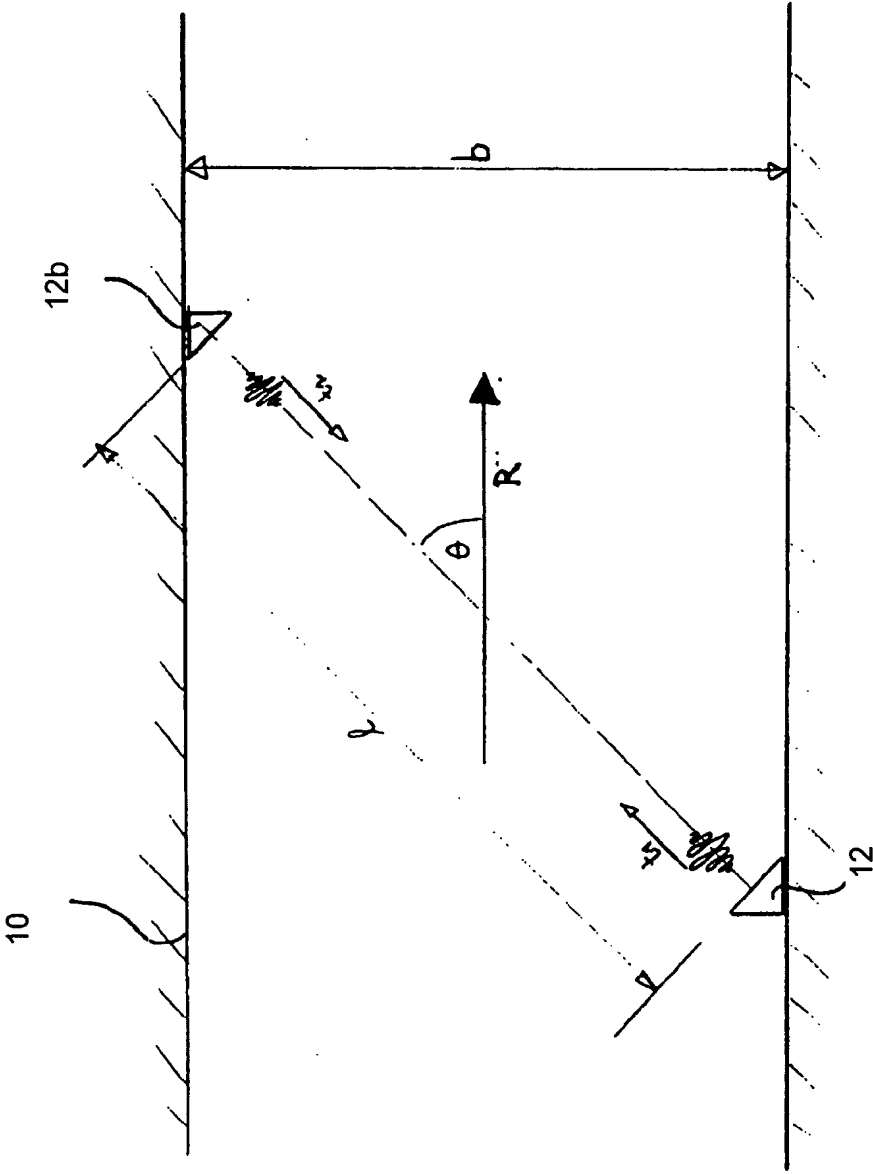


Fig. 2  
Stand der Technik

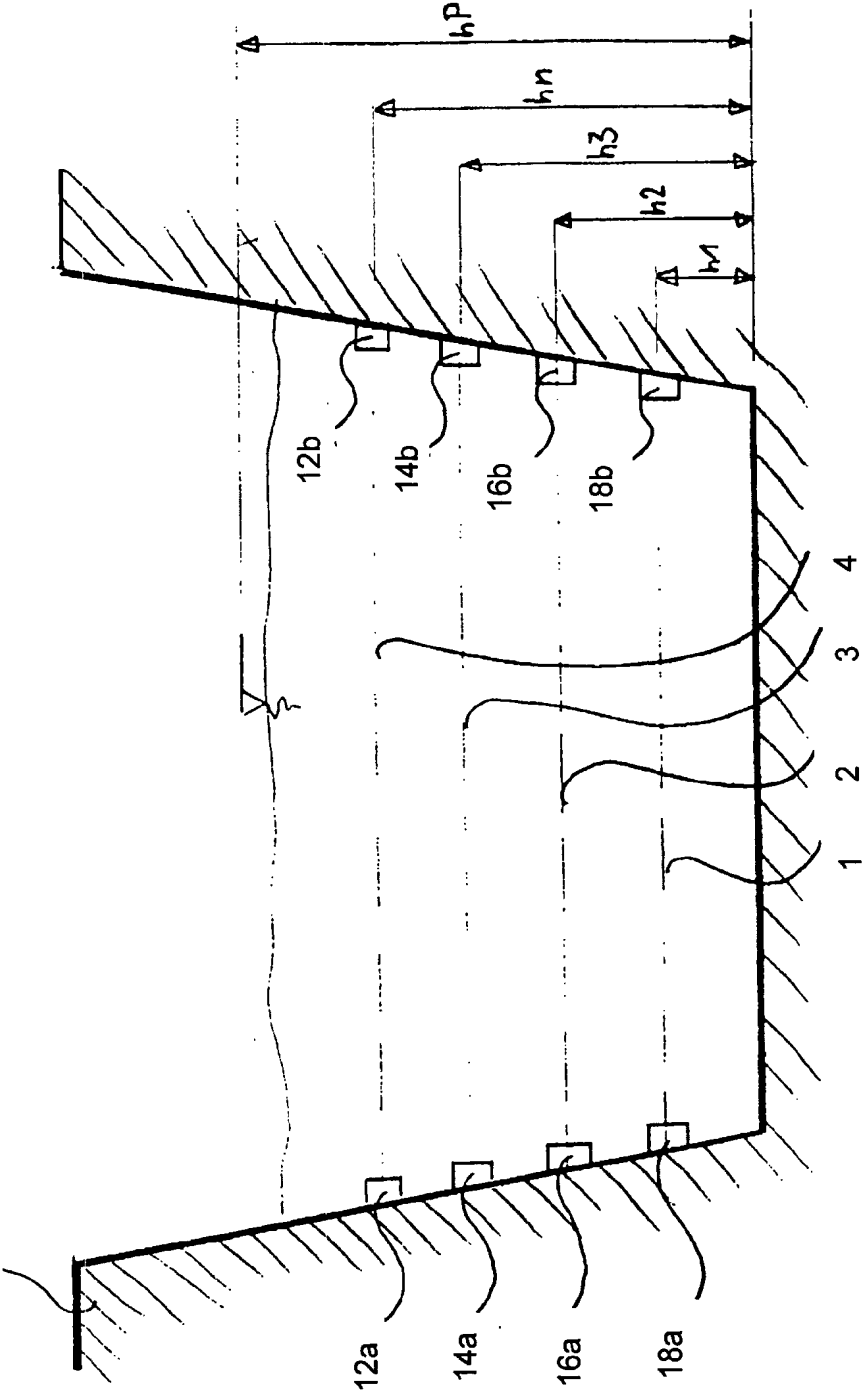
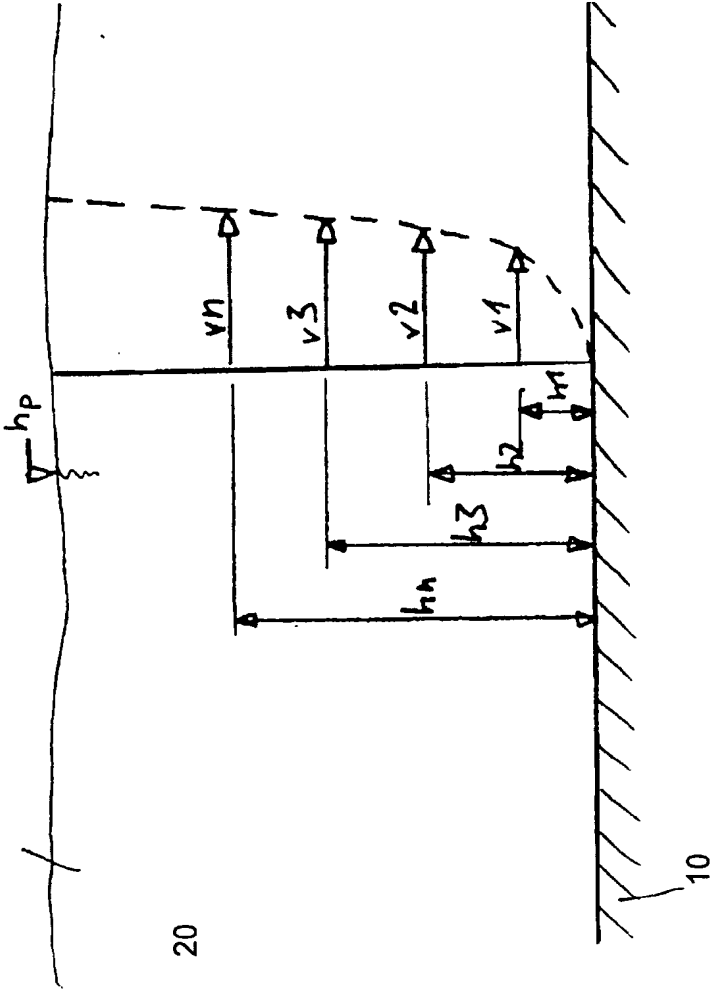


Fig. 3      Stand der Technik



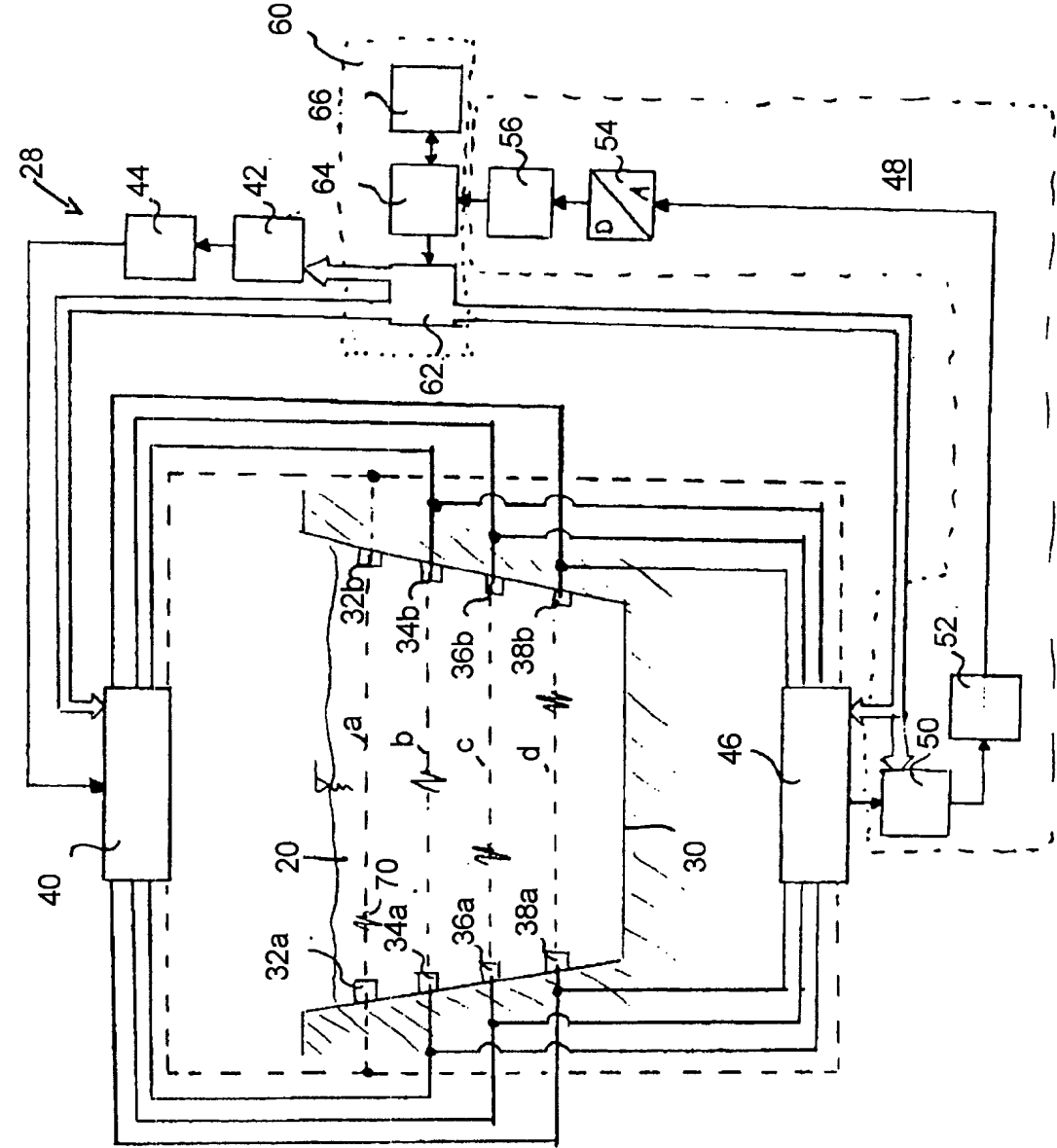


Fig. 4

Fig. 5

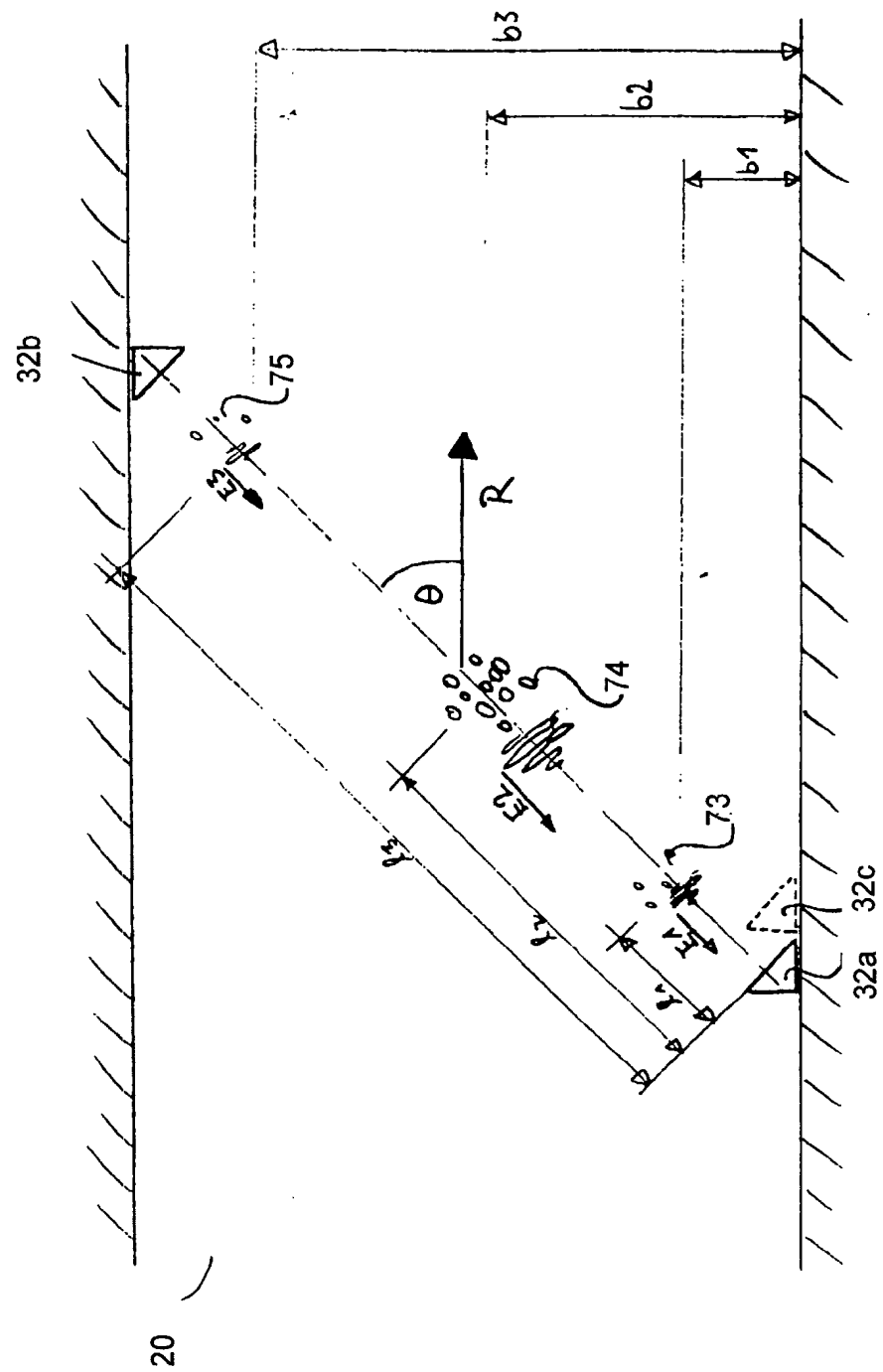




Fig. 6

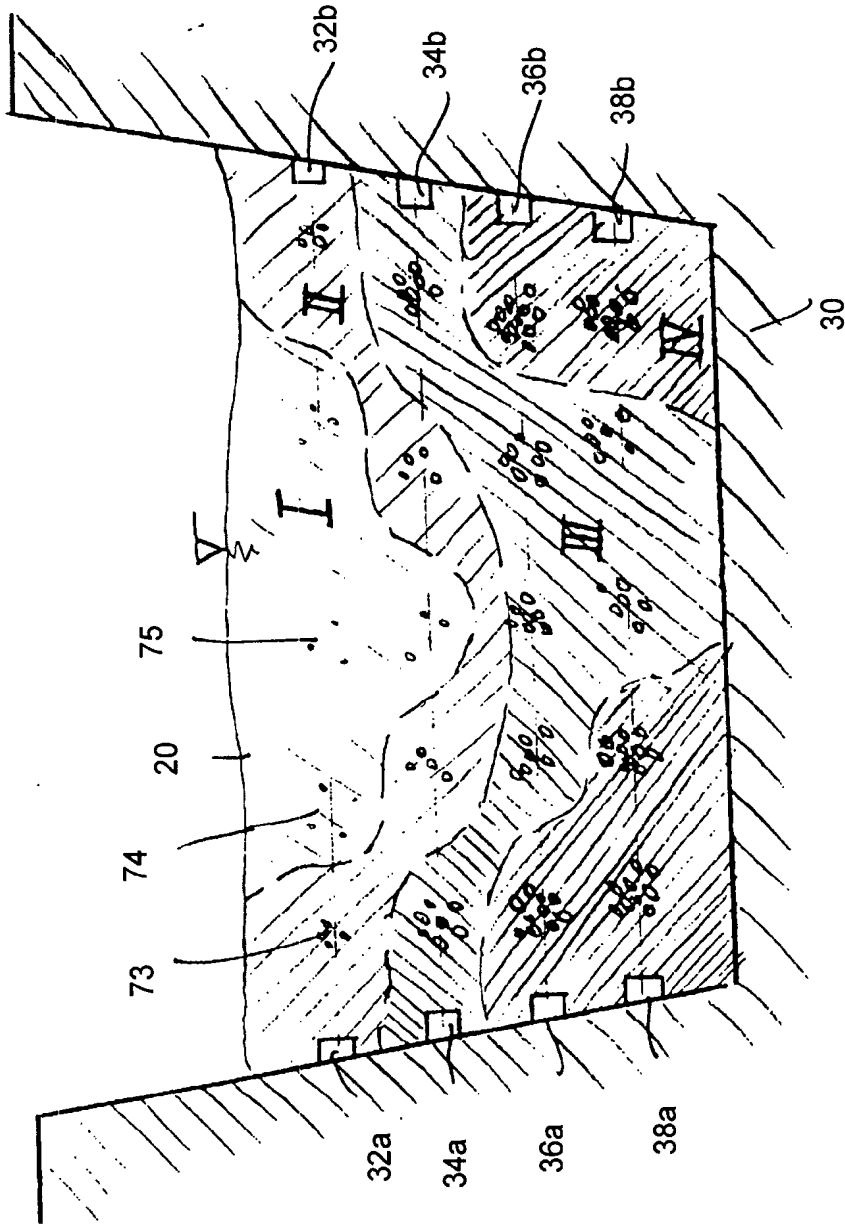


Fig. 7

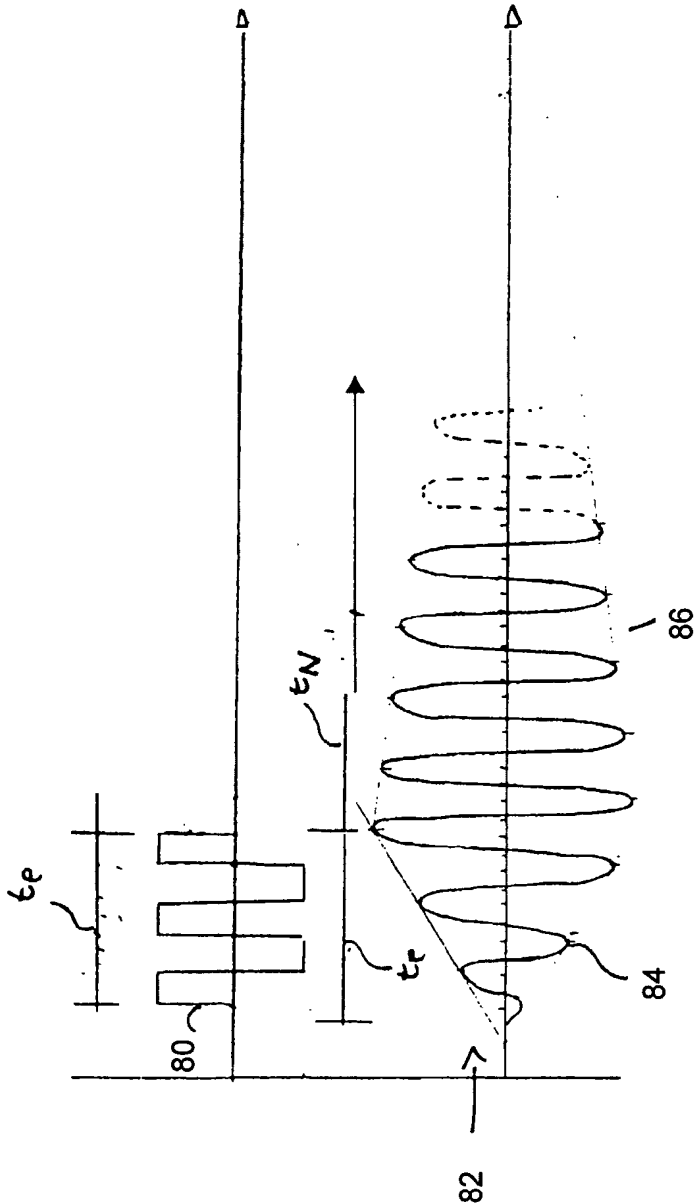
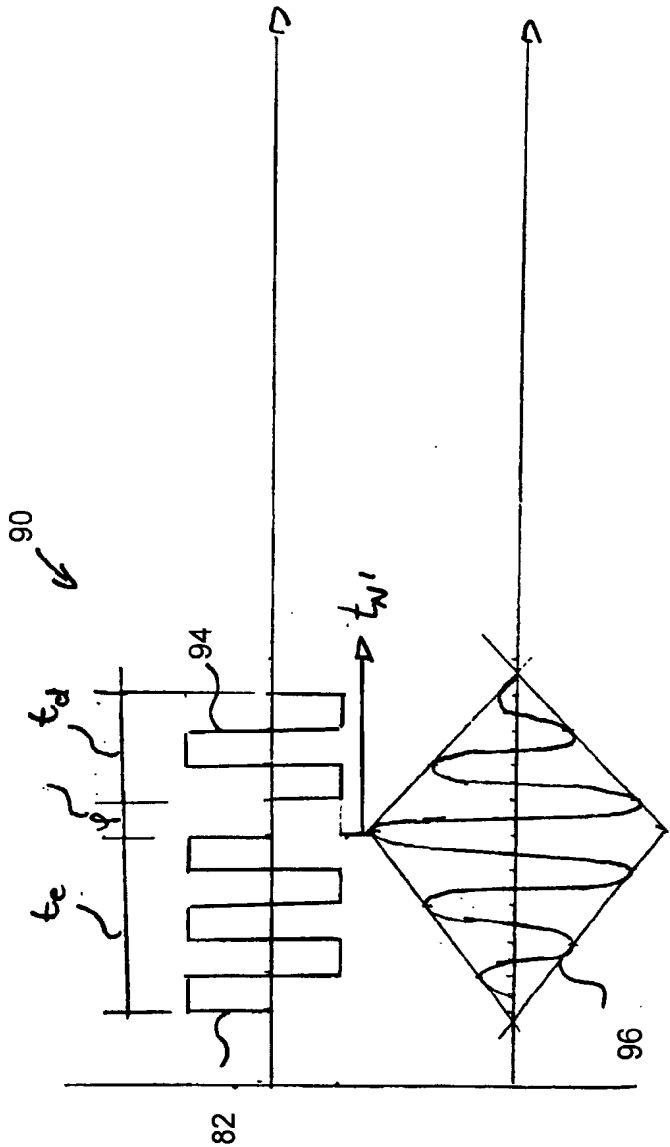


Fig. 8



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

national Application No  
PCT/DE 03/01783

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01F1/66 G01F1/74 G01N29/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01F G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 533 408 A (OLDENZIEL DANIEL ET AL) 9 July 1996 (1996-07-09) column 3, line 66 -column 7, line 18; figures 2-4	8,9
Y	US 3 731 532 A (COURTY A) 8 May 1973 (1973-05-08) column 1, line 60 -column 5, line 62; figures 1-4	1,2,7
Y	GB 2 156 075 A (MICRO PURE SYSTEMS INC) 2 October 1985 (1985-10-02) page 1, line 37 -page 2, line 100; claims 1-17; figures 1,2	1,2,7
	---	
	--- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 September 2003

Date of mailing of the international search report

07/10/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Roetsch, P

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 03/01783

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 125 514 A (DEMUTH ROBERT ET AL) 30 June 1992 (1992-06-30) column 3, line 21 -column 8, line 37; figures 1-8 ---	3
A	US 3 575 050 A (LYNNWORTH LAWRENCE C) 13 April 1971 (1971-04-13) column 2, line 29 column 4, line 3 -column 5, line 33 column 6, line 3 -column 7, line 55 figures 3,7-11 ---	4
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 14, 5 March 2001 (2001-03-05) -& JP 2000 321104 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 24 November 2000 (2000-11-24) abstract; figures 1-3 ---	5,6
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 011, no. 153 (P-577), 19 May 1987 (1987-05-19) & JP 61 288185 A (OMRON TATEISI ELECTRONICS CO), 18 December 1986 (1986-12-18) abstract ---	5,6
A	US 4 718 269 A (DER KINDEREN WILHELMUS J G J) 12 January 1988 (1988-01-12) column 3, line 55 -column 6, line 66; figures 2-8 -----	1-4,8,9

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

National Application No

PCT/DE 03/01783

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5533408	A	09-07-1996	CN 1118190 A ,B DE 59409213 D1 DK 686255 T3 WO 9517650 A1 EP 0686255 A1 ES 2143038 T3 JP 2683159 B2 JP 8502831 T	06-03-1996 20-04-2000 13-06-2000 29-06-1995 13-12-1995 01-05-2000 26-11-1997 26-03-1996
US 3731532	A	08-05-1973	NONE	
GB 2156075	A	02-10-1985	NONE	
US 5125514	A	30-06-1992	AT 103069 T CN 1041979 A ,B DD 284911 A5 DE 58907225 D1 EP 0364786 A1 JP 2156187 A SU 1838470 A3	15-04-1994 09-05-1990 28-11-1990 21-04-1994 25-04-1990 15-06-1990 30-08-1993
US 3575050	A	13-04-1971	DE 1958235 A1	11-06-1970
JP 2000321104	A	24-11-2000	NONE	
JP 61288185 4	A		NONE	
US 4718269	A	12-01-1988	EP 0198127 A1 DE 3580670 D1	22-10-1986 03-01-1991

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G01F1/66 G01F1/74 G01N29/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01F G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 533 408 A (OLDENZIEL DANIEL ET AL) 9. Juli 1996 (1996-07-09) Spalte 3, Zeile 66 -Spalte 7, Zeile 18; Abbildungen 2-4 ---	8,9
Y	US 3 731 532 A (COURTY A) 8. Mai 1973 (1973-05-08) Spalte 1, Zeile 60 -Spalte 5, Zeile 62; Abbildungen 1-4 ---	1,2,7
Y	GB 2 156 075 A (MICRO PURE SYSTEMS INC) 2. Oktober 1985 (1985-10-02) Seite 1, Zeile 37 -Seite 2, Zeile 100; Ansprüche 1-17; Abbildungen 1,2 --- -/--	1,2,7



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&amp;" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

19. September 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

07/10/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Roetsch, P

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 125 514 A (DEMUTH ROBERT ET AL) 30. Juni 1992 (1992-06-30) Spalte 3, Zeile 21 -Spalte 8, Zeile 37; Abbildungen 1-8 ----	3
A	US 3 575 050 A (LYNNWORTH LAWRENCE C) 13. April 1971 (1971-04-13) Spalte 2, Zeile 29 Spalte 4, Zeile 3 -Spalte 5, Zeile 33 Spalte 6, Zeile 3 -Spalte 7, Zeile 55 Abbildungen 3,7-11 ----	4
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 14, 5. März 2001 (2001-03-05) -& JP 2000 321104 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 24. November 2000 (2000-11-24) Zusammenfassung; Abbildungen 1-3 ----	5,6
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 011, no. 153 (P-577), 19. Mai 1987 (1987-05-19) & JP 61 288185 A (OMRON TATEISI ELECTRONICS CO), 18. Dezember 1986 (1986-12-18) Zusammenfassung ----	5,6
A	US 4 718 269 A (DER KINDEREN WILHELMUS J G J) 12. Januar 1988 (1988-01-12) Spalte 3, Zeile 55 -Spalte 6, Zeile 66; Abbildungen 2-8 -----	1-4,8,9



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/01783

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5533408	A	09-07-1996	CN	1118190 A ,B	06-03-1996
			DE	59409213 D1	20-04-2000
			DK	686255 T3	13-06-2000
			WO	9517650 A1	29-06-1995
			EP	0686255 A1	13-12-1995
			ES	2143038 T3	01-05-2000
			JP	2683159 B2	26-11-1997
			JP	8502831 T	26-03-1996
-----					
US 3731532	A	08-05-1973	KEINE		
-----					
GB 2156075	A	02-10-1985	KEINE		
-----					
US 5125514	A	30-06-1992	AT	103069 T	15-04-1994
			CN	1041979 A ,B	09-05-1990
			DD	284911 A5	28-11-1990
			DE	58907225 D1	21-04-1994
			EP	0364786 A1	25-04-1990
			JP	2156187 A	15-06-1990
			SU	1838470 A3	30-08-1993
-----					
US 3575050	A	13-04-1971	DE	1958235 A1	11-06-1970
-----					
JP 2000321104	A	24-11-2000	KEINE		
-----					
JP 61288185 4	A		KEINE		
-----					
US 4718269	A	12-01-1988	EP	0198127 A1	22-10-1986
			DE	3580670 D1	03-01-1991
-----					